

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 1月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-002988

[ST.10/C]:

[JP2003-002988]

出 願 人

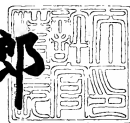
Applicant(s):

株式会社村田製作所

2003年 7月 3日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3052842

【書類名】 特許願

【整理番号】 32-0277P

【提出日】 平成15年 1月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明の名称】 積層型圧電部品の製造方法、及び積層型電子部品

【請求項の数】 11

【国際特許分類】 H01L 41/187
H01L 41/22
C04B 35/491
H01L 41/107

【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号
株式会社村田製作所内

【氏名】 堀川 勝弘

【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号
株式会社村田製作所内

【氏名】 小川 智之

【特許出願人】

【識別番号】 000006231

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号

【氏名又は名称】 株式会社村田製作所

【代理人】

【識別番号】 100117477

【弁理士】

【氏名又は名称】 國弘 安俊

【電話番号】 06(6101)1266

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-216120

【出願日】 平成14年 7月25日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 132493

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0200746

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 積層型圧電部品の製造方法、及び積層型電子部品

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の圧電セラミック層と該圧電セラミック層を介して配置された内部電極層とを有し、前記圧電セラミック層を構成する圧電セラミックを、一般式 ABO_3 で表されるペロブスカイト型複合酸化物で形成すると共に、A サイト成分として少なくともPbを含有し、B サイト成分として少なくともTiを含有した積層型圧電部品の製造方法であって、

前記A サイト成分の含有モル量を、化学量論組成よりも0.5mol%～5.0mol%減じた圧電セラミック粉末原料を生成する粉末原料生成工程と、

前記圧電セラミック粉末原料を用いて積層成形体を作製する積層成形体作製工程と、

酸素濃度が体積%で5%以下（但し、0%を含まず）の雰囲気中で前記積層成形体に焼成処理を施す焼成工程とを含むことを特徴とする積層型圧電部品の製造方法。

【請求項2】 前記粉末原料生成工程は、前記B サイト成分の平均価数が化学量論組成よりも大きくなるように前記A サイト成分を構成するセラミック素原料とB サイト成分を構成するセラミック素原料とを配合することを特徴とする請求項1記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項3】 前記B サイト成分は、Ti、Zr、及びTi、Zr以外のイオンをさらに含み、

かつ、前記B サイト成分の含有イオン M_n ($n=1, 2, 3, \dots, i$) の価数を a_n ($n=1, 2, 3, \dots, i$)、前記 M_n の含有モル比を b_n ($n=1, 2, 3, \dots, i$) と表記した場合に、

【数1】

$$4.000 < \frac{\sum_{n=1}^i a_n b_n}{\sum_{n=1}^i b_n} < 4.100$$

を充足するように、前記Bサイト成分の平均価数を制御し、前記圧電セラミック粉末原料を生成することを特徴とする請求項2記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項4】 前記粉末原料生成工程は、前記Aサイト成分に含有されるPbの含有モル量を、化学量論組成に対し0.5～5.0mol%減じることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項5】 前記Bサイト成分は、さらにNbを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項6】 前記Bサイト成分は、さらにNb及びNiを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項7】 前記Bサイト成分は、さらにNb、Sb、Ta、Wの中から選択された少なくとも1種以上の成分を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項8】 前記Bサイト成分は、さらにNi、Cr、Co、Mgの中から選択された少なくとも1種以上の成分を含むことを特徴とする請求項7記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項9】 前記導電性ペーストは、Agを主成分として含むことを特徴とする請求項1乃至請求項8のいずれかに記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項10】 前記積層成形体作製工程は、前記圧電セラミック粉末原料をシート状に成形してセラミックグリーンシートを作製するセラミックグリーンシート作製工程と、内部電極用の導電性ペーストを使用して前記セラミックグリーンシート上に電極パターンを形成する工程と、前記電極パターンを形成したセラミックグリーンシートを積層して積層成形体を形成する工程とを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれかに記載の積層型圧電部品の製造方法。

【請求項11】 請求項1乃至請求項10のいずれかに記載の製造方法により製造されたことを特徴とする積層型圧電部品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は積層型圧電部品の製造方法及び積層型圧電部品に関し、より詳しくは、薄層化・多層化され、かつ高い圧電 d 定数（歪定数）が要求される積層圧電アクチュエータや積層圧電発音体、積層圧電センサ等の積層型圧電部品の製造方法、及び該製造方法を使用して製造された積層型圧電部品に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、セラミック材料の圧電特性を利用した圧電アクチュエータや圧電発音体、圧電センサ、圧電トランス等の圧電部品が、移動体通信機器やAV機器、OA機器等に広く使用されている。

【0003】

そして、最近では、電子部品の小型化や圧電特性を向上させる観点から、積層型圧電部品の開発も盛んに行なわれており、特に、積層型圧電部品を構成するセラミックシートを薄層化したり、該セラミックシートの積層数を増加させて多層化し、圧電部品の更なる小型化や圧電特性の向上を図る試みが行なわれている。

【0004】

しかしながら、積層型圧電部品を薄層化、多層化させると、Ag等の内部電極用材料がセラミックス素体中に拡散し、圧電特性の劣化や信頼性の低下を引き起こす。

【0005】

そこで、従来より、Ag等の内部電極用材料がセラミック素体中に拡散するのを抑制する方法として、圧電体以外のセラミックと内部電極用材料とを低酸素雰囲気中で焼成した技術が提案されている（特許文献1～3）。

【0006】

特許文献1～3では、低酸素雰囲気（例えば、酸素濃度が50000ppm以下）で焼成処理を施すことにより、内部電極用材料としてのAgの活性を低下させ、焼成時のセラミック素体へのAgの拡散を抑制している。

【0007】

また、圧電セラミックの従来技術としては、焼成時の炉内酸素濃度によりAgの拡散量を制御した技術が提案されている（特許文献4、5）。

【0008】

特許文献4、5では、圧電トランス等に使用される材料として圧電d定数が小さく、機械的品質係数 Q_m の高いハード系圧電セラミックス材料が使用されており、一般式 ABO_3 で表されるペロブスカイト型複合酸化物のAサイト成分量を化学量論組成よりも過剰にし、AgとPdとの重量比Ag/Pdが60/40～80/20の内部電極用材料を使用すると共に、酸素濃度を1%以上の雰囲気中で焼成することにより、良好なトランス特性を得ている。

【0009】

【特許文献1】

特許第2676620号公報

【特許文献2】

特公平6-20014号公報

【特許文献3】

特開平2-122598号公報

【特許文献4】

特開平11-163433号公報

【特許文献5】

特開平11-274595号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記特許文献1～3をPb系のペロブスカイト型圧電セラミックス材料に適用した場合、低酸素雰囲気中で焼成処理を行なっているため酸素空孔の生成が促進され、圧電d定数の劣化が顕著となる。特に、酸素濃度を1体積%（以下、体積%をvol%と記す）未満に低減した場合や、圧電d定数の高いソフト系圧電セラミックス材料を使用した場合は圧電d定数の劣化が顕著となり、高い圧電d定数が要求される積層圧電アクチュエータや積層圧電発音体、積層圧電センサ等に適用するのは困難であるという問題点があった。

【0011】

また、上記特許文献4、5では、AgとPdとの重量比Ag/Pdが60/4

0～80/20の内部電極用材料を使用しているが、電極材料の低コスト化を図るべく、Pdよりも安価なAgの含有率を80重量%（以下、重量%をwt%と記す）以上に増加させた場合はAgの拡散量も増加するため、酸素空孔の形成が促進され、圧電d定数や絶縁抵抗の劣化を引き起こす恐れがあるという問題点があった。

【0012】

しかも、上記特許文献4、5では、厚みが80～100μmのセラミックシートを積層して積層型圧電トランスを得ているが、セラミックシートを更に薄くした場合Agの拡散量も増加し、圧電特性や絶縁抵抗の劣化を助長するという問題点があった。

【0013】

さらに、上記特許文献4、5では、圧電トランスを主たる対象としているため、機械的品質係数Qmの高いハード系の圧電セラミック材料を使用しているが、圧電アクチュエータや圧電発音体、圧電センサ等は圧電d定数の高いソフト系の圧電セラミックス材料を使用する必要がある。

【0014】

しかしながら、斯かるソフト系の圧電セラミックス材料を使用し、内部電極用材料としてのAgの含有率を増やしていった場合やセラミックシートを薄層化したり、多層化した場合にAgの圧電セラミックス粒内への拡散や低酸素雰囲気中での焼成により、酸素空孔の形成が更に促進され、圧電d定数の低下が顕著になるという問題点があった。

【0015】

本発明はこのような問題点に鑑みなされたものであって、薄層化や多層化しても、或いはAgの含有率が高い内部電極材料を用いた場合であっても、高い圧電d定数を得ることができ、かつ絶縁抵抗の劣化などの信頼性低下を抑制することのできる積層型圧電部品の製造方法、及び圧電特性が良好で信頼性に優れた積層型圧電部品を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは上記目的を達成するために鋭意研究したところ、一般式 ABO_3 で表されるペロブスカイト型複合酸化物において、Aサイト成分の含有モル量を化学量論組成よりも0.5~5.0mol%減じた圧電セラミック粉末原料を生成した後、該圧電セラミック粉末原料を用いて積層成形体を形成し、これを酸素濃度が5.0vol%以下の雰囲気中で焼成することにより、セラミックグリーンシートを薄層化・多層化したり、或いは内部電極材料中のAg含有量が80wt%以上の高含有率になっても高い圧電d定数を得ることができ、かつ良好な信頼性を有する積層型圧電部品を得ることができるという知見を得た。

【0017】

本発明はこのような知見に基づき成されたものであって、本発明に係る積層型圧電部品の製造方法は、複数の圧電セラミック層と該圧電セラミック層を介して配置された内部電極層とを有し、前記圧電セラミック層を構成する圧電セラミックを、一般式 ABO_3 で表されるペロブスカイト型複合酸化物で形成すると共に、Aサイト成分として少なくともPbを含有し、Bサイト成分として少なくともTiを含有した積層型圧電部品の製造方法であって、前記Aサイト成分の含有モル量を、化学量論組成よりも0.5mol%~5.0mol%減じた圧電セラミック粉末原料を生成する粉末原料生成工程と、前記圧電セラミック粉末原料を用いて積層成形体を作製する積層成形体作製工程と、酸素濃度が体積%で5%以下（但し、0%を含まず）の雰囲気中で前記積層成形体に焼成処理を施す焼成工程とを含むことを特徴としている。

【0018】

上記製造方法によれば、Aサイト成分の含有モル量を所定量減じることにより、Aサイト成分位置に空孔（Aサイト欠損）が形成され、これにより低酸素雰囲気での焼成や内部電極用材料の拡散により生成される酸素空孔が前記Aサイト欠損で補償され、圧電d定数の低下を抑制することができる。

【0019】

また、本発明者らが鋭意研究したところ、前記Bサイト成分の平均価数が化学量論組成よりも大きくなるようにセラミック素原料を配合した圧電セラミック粉末原料を使用した場合に、さらに高い圧電d定数を得ることができ、且つ良好な

絶縁抵抗を有する積層型圧電部品を得ることができるという知見を得た。

【0020】

すなわち、本発明の積層型圧電部品の製造方法は、前記粉末原料生成工程は、前記Bサイト成分の平均価数が化学量論組成よりも大きくなるように前記Aサイト成分を構成するセラミック素原料とBサイト成分を構成するセラミック素原料とを配合することを特徴としている。

【0021】

また、本発明の積層型圧電部品の製造方法は、Bサイト成分は、Ti、Zr、及びTi、Zr以外のイオンをさらに含み、かつ前記Bサイト成分の含有イオン M_n ($n=1, 2, 3, \dots i$) の価数を a_n ($n=1, 2, 3, \dots i$)、前記 M_n の含有モル比を b_n ($n=1, 2, 3, \dots i$) と表記した場合に、

【0022】

【数2】

$$4.000 < \frac{\sum_{n=1}^i a_n b_n}{\sum_{n=1}^i b_n} < 4.100$$

を充足するように、前記Bサイト成分の平均価数を制御し、前記セラミック粉末原料を生成することを特徴としている。

【0023】

上記製造方法によれば、Bサイト成分の平均価数を化学量論である4価よりも大きく、しかも4.100未満となるように制御しているので、焼結性等を損なうこともなく、より効果的にAサイト欠損を形成することができ、該Aサイト欠損がAgの拡散や低酸素雰囲気中での焼成で生成される酸素空孔を補償し、これにより、圧電d定数の低下や絶縁抵抗の劣化をより一層効果的に抑制することができる。

【0024】

また、本発明の積層型圧電部品の製造方法は、前記粉末原料生成工程が、前記Aサイト成分に含有されるPbの含有モル量を、化学量論組成に対し0.5mol

～5、0mol%に減じることを特徴としている。

【0025】

上記製造方法によれば、Pbの含有モル量を所定量減じることにより、結晶構造のPb位置に空孔（以下、この空孔を「Pb空孔」という）が形成され、これにより低酸素雰囲気での焼成や内部電極用材料の拡散により生成される酸素空孔が前記Pb空孔で補償され、圧電d定数の低下を抑制することができる。

【0026】

また、本発明の積層型圧電部品の製造方法は、前記Bサイト成分は、さらにNbを含むことを特徴とし、また、前記Bサイト成分は、さらにNb及びNiを含むことを特徴としている。

【0027】

上記製造方法によれば、価数が5価のNbをドナーイオンとして含有させることにより、又は5価のNbと2価のNiの含有量を適宜調整してドナー過剰とすることにより、Bサイト成分の平均価数を4価よりも大きくすることができ、これにより酸素空孔を補償するPb空孔の形成が促進され、圧電d定数が高く絶縁抵抗の劣化を抑制できる積層型圧電部品の製造することができる。

【0028】

また、本発明の積層型圧電部品の製造方法は、前記Bサイト成分は、さらにNb、Sb、Ta、Wの中から選択された少なくとも1種以上の成分を含むことを特徴とし、また、前記Bサイト成分は、さらにNi、Cr、Co、Mgの中から選択された少なくとも1種以上の成分を含むことを特徴としている。

【0029】

上記製造方法によれば、価数が5価のNb、Sb、Taや6価のWをドナーイオンとして含有させることにより、または5価のNb、Sb、Ta、及び／又は6価のWと、2価のNi、Co、Mg及び／又は3価のCrを含有させてBサイト成分の平均価数が4価よりも大きくなるようにドナー過剰とすることにより、上述と同様、酸素空孔を補償するPb空孔の形成が促進され、圧電d定数が高く絶縁抵抗の劣化を抑制することのできる積層型圧電部品の製造することができる。

【 0 0 3 0 】

また、本発明の積層型圧電部品の製造方法は、前記導電性ペーストは、A g を主成分として含むことを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

さらに、前記前記積層成形体作製工程は、前記圧電セラミック粉末原料をシート状に成形してセラミックグリーンシートを作製するセラミックグリーンシート作製工程と、内部電極用の導電性ペーストを使用して前記セラミックグリーンシート上に電極パターンを形成する工程と、前記電極パターンを形成したセラミックグリーンシートを積層して積層成形体を形成する工程とからなることを特徴としている。

【 0 0 3 2 】

上記製造方法によれば、P d 等に比べ安価な A g が内部電極用材料の大部分を占める場合であっても、P b 空孔が A g の拡散により生成される酸素空孔を補償するので、圧電 d 定数や絶縁抵抗の劣化を回避することができる。

【 0 0 3 3 】

また、本発明に係る積層型圧電部品は、上記製造方法により製造されたことを特徴としている。

【 0 0 3 4 】

上記構成によれば、高い圧電 d 定数と良好な絶縁抵抗を有する信頼性に優れた積層型圧電部品を得ることができる。

【 0 0 3 5 】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態を詳説する。

【 0 0 3 6 】

図 1 は本発明の製造方法を使用して製造された積層型圧電部品としての積層圧電アクチュエータの一実施の形態（第 1 の実施の形態）を示す断面図である。

【 0 0 3 7 】

該積層圧電アクチュエータは積層型圧電素子により構成され、一般式 ABO_3 で表されるペロブスカイト型複合酸化物としてのチタン酸ジルコン酸鉛（P b （

$Zr, Ti)O_3$; PZT) を主成分とする圧電セラミック素体 1 と、該圧電セラミック素体 1 の上下両面から側面部に架けて断面 L 字状に形成された Ag 等の外部電極 2 (2a、2b) と、圧電セラミック素体 1 の内部に並列対向状に埋設された内部電極 3 (3a~3f) とを備えている。

【0038】

すなわち、上記積層圧電アクチュエータは、内部電極 3a、3c、3e の一端が一方の外部電極 2b と電気的に接続され、内部電極 3b、3d、3f の一端は他方の外部電極 2a と電気的に接続されている。そして、積層圧電アクチュエータの分極方向は、内部電極 3 面に対し垂直方向とされ、一層毎に互いに逆方向に分極されている。そして、外部電極 2a と外部電極 2b との間に電圧が印加されると、圧電横効果により矢印 A で示す長手方向に変位する。

【0039】

また、上記内部電極 3 は、本実施の形態では、Ag と Pd の混合物で形成されており、Ag と Pd の重量比 Ag/Pd は 70/30~95/5 に調製されている。

【0040】

尚、より安価な Ag の含有量を増加させて低コスト化を図る観点からは、Ag の含有量が 80wt% 以上となるように調製するのが好ましく、より好ましくは、Ag の含有量が 85wt% 以上となるように調製するのが望ましい。

【0041】

次に、上記積層圧電アクチュエータの製造方法について詳述する。

【0042】

まず、セラミック素原料として Pb_3O_4 、 ZrO_2 、 TiO_2 、必要に応じて Nb_2O_5 、 NiO 、 Sb_2O_5 、 WO_3 、 Ta_2O_5 、 Cr_2O_3 、 CoO 、 MgO を所定量秤量した後、該秤量物をジルコニアボール等の粉碎媒体が内蔵されたボールミルに投入し、16~64 時間混合粉碎する。そしてその後、得られた混合粉末を 800℃~1000℃ で仮焼し、化学組成式 $Pb_{0.950\sim0.995}(Zr, Ti)O_3$ で示される主成分を含有する PZT 系セラミック粉末原料、すなわち、Pb の含有モル量が化学量論組成よりも 0.5~5.0mol% 減じられ

た圧電セラミック粉末原料（以下、単に「セラミック粉末原料」という）を作製する。

【0043】

ここで、Pbの含有モル量を化学量論組成よりも0.5～5.0mol%減じたのは以下の理由による。

【0044】

圧電セラミック素体1は、後述するように複数の圧電セラミック層と該圧電セラミック層の間に介装された内部電極層とからなる積層成形体を焼成することにより形成されるが、各圧電セラミック層の1層当たりの層厚を薄層化したり、内部電極層の主成分である電極材料としてのAgの含有率を増加させると、Agの圧電セラミック素体1中への拡散量が増加し、酸素空孔の形成が促進されるため、圧電d定数の低下を引き起こす。また、Agの圧電セラミック素体1中への拡散を抑制すべく低酸素雰囲気中で焼成を行った場合も、上述と同様、酸素空孔の生成が促進されるため、圧電d定数の低下を引き起こす。

【0045】

ところが、Pbの含有モル量が化学量論組成よりも少なくなると、Pb空孔が形成されるため、該Pb空孔が上述した酸素空孔生成反応を補償し、圧電d定数の低下や絶縁抵抗の劣化を抑制することが可能となる。

【0046】

そして、Pbの減少モル量が化学量論組成に対し0.5mol%未満の場合は、酸素空孔生成反応を補償するに足るPb空孔を生成させることができず、上記の作用効果が不十分である。一方、Pbの減少モル量が化学量論組成に対し5.0mol%を超えた場合はPbの含有モル量が少なくなり、このためBサイト成分が固溶しきれなくなって析出したり、焼結体である圧電セラミック素体1の緻密性が損なわれ、却って圧電d定数の低下を引き起こすことになる。

【0047】

そこで、本実施の形態では、Pbの含有モル量を化学量論組成よりも0.5～5.0mol%減じている。

【0048】

次に、このようにして生成されたセラミック粉末原料に対し、有機バインダーや分散剤を添加し、溶媒として水を用いてスラリーを作製し、ドクターブレード法を使用してセラミックグリーンシート（以下、単に、「セラミックシート」という）を作製する。

【0049】

尚、セラミックシートの厚みは $18 \sim 130 \mu\text{m}$ に作製されるが、より小型及び／又は高性能の積層圧電アクチュエータを得る観点からは、一定の印加電圧で高電界を印加でき、かつ高変位を得るべく薄層化することが好ましく、 $64 \mu\text{m}$ 以下（焼結後の層厚みで $40 \mu\text{m}$ 以下）が望ましい。

【0050】

次いで、AgとPdとの重量比Ag/Pdが $70/30 \sim 95/5$ （好ましくは $80/20$ 以上、より好ましくは $85/15$ 以上）に調製された内部電極用導電性ペーストを使用して上記セラミックシート上にスクリーン印刷を施す。そして、これらスクリーン印刷が施されたセラミックシートを所定枚数積層した後、スクリーン印刷されていないセラミックシートで挟持し、圧着して積層成形体を作製する。すなわち複数の圧電セラミック層間に内部電極層が配置された積層成形体を作製する。

【0051】

次いで、該積層成形体をアルミナ製の匣（さや）に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を $5 \text{ vol}\%$ 以下（ $0 \text{ vol}\%$ を含まず）に設定し $950^\circ\text{C} \sim 1080^\circ\text{C}$ の焼成温度で $4 \sim 32$ 時間焼成処理を施し、これにより内部電極3が埋設された圧電セラミック素体1が製造される。

【0052】

ここで、酸素濃度を $5 \text{ vol}\%$ 以下に制御したのは以下の理由である。

【0053】

本実施の形態では、Pbの含有モル量を化学量論組成に対し $0.5 \sim 5.0 \text{ mol}\%$ 減じ、これにより生成されたPb空孔が酸素空孔生成反応を補償し、低酸素雰囲気下でも圧電d定数の低下を回避することができる。しかしながら、低酸素濃度であっても酸素濃度が $5 \text{ vol}\%$ を超えると、薄層化した場合や、内部電極材

料の Ag の含有率を高くした場合は、圧電 d 定数が劣化するとともに、粒成長が生じて焼結体の緻密性を損ない、絶縁信頼性及び強度の低下を引き起こす恐れがある。

【0054】

そこで、本実施の形態では、酸素濃度を 5 vol% 以下 (0 vol% を含まず)、好ましくは 0.01 vol% 以上、1.0 vol% 未満に制御して焼成処理を行っている。

【0055】

そしてこの後、圧電セラミック素体 1 の表面所定箇所に外部電極用導電性ペーストを塗布し、焼付処理を行なって外部電極 3 を形成し、これにより積層圧電アクチュエータが製造される。

【0056】

このように本実施の形態では、Pb の含有モル量を化学量論組成に対し 0.5 ~ 5.0 mol% 減じることにより、化学組成式 $Pb_{0.950 \sim 0.995} (Zr, Ti)O_3$ で示される主成分を含有したセラミック粉末原料を生成し、該セラミック粉末原料を使用して圧電セラミック素体 1 を形成することにより Pb 空孔を形成することができる。そして、この Pb 空孔が Ag の拡散や低酸素雰囲気中での焼成で生成される酸素空孔を補償し、これにより圧電 d 定数の低下や絶縁抵抗の劣化を抑制することができるため、圧電特性が良好で且つ信頼性に優れた積層圧電アクチュエータを製造することができる。

【0057】

また、上記したように Pb の含有モル量を化学量論組成に対し 0.5 ~ 5.0 mol% 減じることにより、圧電 d 定数や絶縁抵抗の劣化を抑制することができるが、さらに上記圧電セラミック素体 1 に Ti や Zr よりも価数の大きなドナーイオンを注入することによって Pb 空孔をより多く形成することができ、これにより、圧電 d 定数の低下や絶縁抵抗の劣化をより一層効果的に抑制することができる。

【0058】

すなわち、B サイト成分が Ti、Zr 以外のイオンを含み、かつ B サイト成分

の含有イオン M_n ($n=1, 2, 3, \dots i$) の価数を a_n ($n=1, 2, 3, \dots i$)、前記 M_n の含有モル比を b_n ($n=1, 2, 3, \dots i$)と表記した場合に、数式(1)を充足するようにドナーイオンを上記圧電セラミック素体1に注入し、これにより、より効果的にPb空孔を形成することができる。

【0059】

【数3】

$$4.000 < \frac{\sum_{n=1}^i a_n b_n}{\sum_{n=1}^i b_n} < 4.100 \quad \dots (1)$$

すなわち、Bサイト成分の平均価数を化学量論組成である4価よりも大きくすることによって、より効果的にPb空孔を形成することができ、このPb空孔がAgの拡散や低酸素雰囲気中での焼成で生成される酸素空孔を補償し、これにより、圧電d定数の低下や絶縁抵抗の劣化をより一層効果的に抑制することができる。

【0060】

具体的には、ドナーイオンとして、 Ti^{4+} や Zr^{4+} よりも価数の大きな Nb^{5+} 、 Sb^{5+} 、 Ta^{5+} 、 W^{6+} の中から選択された少なくとも1種以上を使用し、これらドナーイオンを上記圧電セラミック素体1に注入することにより、例えばZrの一部がこれらドナーイオンと置換されてドナー過剰となり、その結果Pb空孔が形成され、このPb空孔がAgの拡散や低酸素雰囲気中での焼成で生成される酸素空孔を補償し、これにより、圧電d定数の低下や絶縁抵抗の劣化をより一層効果的に抑制することができる。特に、ドナーイオンとして Nb^{5+} を含む場合に、より効果が高い。

【0061】

また、上記ドナーイオンと共にこれらドナーイオンよりも価数の小さい Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cr^{3+} の中から選択された少なくとも1種以上を上記圧電セラミック素体1に適量注入しつつ、ドナー過剰とするのも好ましく、特

に Nb^{5+} と Ni^{2+} を併用することにより、圧電定数の低下や絶縁抵抗の劣化を効果的に抑制することができ、これにより、非常に高い圧電定数を得ることができる。

【0062】

このようにBサイト成分の平均価数を化学量論組成に対し、4価よりも大きくすることによりPb空孔がより効果的に形成され、このPb空孔がAgの拡散や低酸素雰囲気中での焼成で生成される酸素空孔を補償し、これにより圧電定数の低下や絶縁抵抗の劣化を効果的に抑制することができる。

【0063】

尚、上記数式(1)でBサイト成分の平均価数を4.100未満としたのは、前記平均価数が4.100以上になると焼結性が劣化し、またAg含有率の高い内部電極材料との共焼結過程において、通常の共焼結が可能な焼成温度では焼結不足や焼結体に変形が生じる恐れがあるからである。

【0064】

また、Bサイト成分の平均価数は、上述したセラミック素原料と共に、含有イオンを金属酸化物の形態で所定モル量秤量することにより制御することができる。

【0065】

すなわち、Bサイト成分の平均価数が4価以上の所定値(但し、4.100未満)となるように、 Pb_3O_4 、 ZrO_2 、及び TiO_2 と共に、 Nb_2O_5 、 Sb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 WO_3 の中から選択された1種以上(好ましくは Nb_2O_5 を含む)、さらに必要に応じて NiO 、 CoO 、 MgO 、 Cr_2O_3 の中から選択された1種以上(好ましくは NiO を含む)を所定モル量秤量し、その後、上述と同様の方法・手順を行うことにより、ドナー過剰とされた積層圧電アクチュエータを容易に製造することができる。

【0066】

尚、本発明は上記実施の形態に限定されるものではない。上記実施の形態では積層型圧電部品として積層圧電アクチュエータを例に説明したが、高い圧電定数が要求される積層圧電発音体、積層圧電センサ等、その他の積層型圧電部品に

ついても同様に適用できるのはいうまでもなく、また、積層構造、素子形状、変位や力の方向、分極方向、電圧印加方向も上記実施の形態に限定されるものでもない。

【 0 0 6 7 】

図 2 は上記積層型圧電部品の第 2 の実施の形態としての積層圧電発音体を示す断面図である。

【 0 0 6 8 】

積層圧電発音体は、積層圧電素子 4 と振動板 5 とが接着されている。また、積層圧電素子 4 は、PZT を主成分とする圧電セラミック素体 6 の表面に外部電極 7 a 及び外部電極 7 b が形成され、さらに前記圧電セラミック素体 6 の内部には並列対向状に内部電極 6 a ～ 6 c が埋設されている。

【 0 0 6 9 】

前記積層圧電素子 4 は、内部電極 6 a、6 c の一端が一方の外部電極 7 b と電気的に接続され、内部電極 6 b の一端は他方の外部電極 7 a と電気的に接続されている。そして、積層圧電素子 4 は、外部電極 7 a と外部電極 7 b との間に電圧が印加されると、圧電横効果により矢印 B で示す長手方向に変位し、この変位により、振動板 5 には屈曲振動が励起されて発音する。

【 0 0 7 0 】

この積層圧電発音体においても、上述した製造方法で圧電セラミック素体 6 を製造することにより、圧電 d 定数の低下や絶縁抵抗の劣化を効果的に抑制することができ、信頼性に優れた積層圧電発音体を製造することができる。

【 0 0 7 1 】

図 3 は上記積層型圧電部品の第 3 の実施の形態としての積層圧電センサを示す断面図である。

【 0 0 7 2 】

該積層圧電センサは、第 1 の実施の形態と同様、積層圧電素子により構成され、PZT を主成分とする圧電セラミック素体 9 の表面に外部電極 1 0 a 及び外部電極 1 0 b が形成されると共に、前記圧電セラミック素体 9 の内部には並列対向状に内部電極 1 1 a ～ 1 1 e が埋設されている。

【0073】

そして、該積層圧電センサは、内部電極11a、11c、11eの一端が一方の外部電極10bと電気的に接続され、内部電極11b、11dの一端は他方の外部電極10aと電気的に接続されている。そして、矢印C方向に力が加えられると、圧電正効果により、外部電極10aと外部電極10bとの間に電荷が発生し、この電荷によって力を検知する。

【0074】

この積層圧電センサにおいても、上述した製造方法で圧電セラミック素体9を製造することにより、圧電d定数の低下や絶縁抵抗の劣化を効果的に抑制することができ、信頼性に優れた積層圧電発音体を製造することができる。

【0075】

なお、本実施の形態では大量生産に適しているシート工法を使用して積層成形体を形成しているが、積層成形体を形成する工程は前記シート工法に限定されるものではない。例えば、印刷積層工程等の他の積層成形体形成工程を使用しても同様の効果が得られるのはいうまでもない。

【0076】

【実施例】

次に、本発明の実施例を具体的に説明する。

【0077】

〔第1の実施例〕

本発明者らは、セラミック粉末原料の組成比が異なる積層型圧電部品の試験片（実施例1～18、及び比較例1～9）を作製し、Agの拡散量、圧電 d_{31} 定数、及び絶縁抵抗を評価した。

【0078】

（実施例1～3）

まず、セラミック素原料として Pb_3O_4 、 TiO_2 、及び ZrO_2 を準備し、Aサイトを構成するPbの含有モル量が化学量論組成よりも0.5～5.0mol%だけ少なくなるように Pb_3O_4 を秤量し、Bサイトを構成するTi及びZrの含有モル量がそれぞれ44.5～45.5mol%及び54.5～55.5mol

%となるように TiO_2 及び ZrO_2 を秤量した。次いでこれら秤量物を粉碎媒体としてのジルコニアボールが内蔵されたボールミルに投入し、16～64時間混合粉碎し、その後、得られた混合粉末を800℃～1000℃で仮焼し、セラミック粉末原料を作製した。

【0079】

次いで、前記セラミック粉末原料に有機バインダと分散剤とを添加し、溶媒として水を用いてスラリーを作製し、ドクターブレード法により厚みが40 μm のセラミックシートを作製した。

【0080】

次に、AgとPdとの重量比Ag/Pdが85/15に調製された内部電極用導電性ペーストを使用して上記セラミックシート上に該ペーストをスクリーン印刷し、これらスクリーン印刷が施されたセラミックシートを所定枚数積層した後、スクリーン印刷されていないセラミックシートで挟持し、圧着して積層枚数が4～20枚の積層成形体を作製した。そしてこの後、該積層成形体をアルミナ製の匣(さや)に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を0.2vol%に設定し、1020℃の焼成温度で4～32時間焼成し、総厚み0.1～0.5mmのセラミック焼結体を作製した。

【0081】

次いで、前記セラミック焼結体を縦3mm、横13mmに切断し、外部電極用導電性ペーストを用いて外部電極を形成し、その後、40～80℃の絶縁オイル中で、2～3kV/mmの電界を印加して5～30分間分極処理を施し、実施例1～3の試験片を作製した。

【0082】

(実施例4～7)

セラミック素原料として Pb_3O_4 、 TiO_2 、 ZrO_2 、及び Nb_2O_5 を準備し、Pbの含有モル量が化学量論組成よりも0.5～5.0mol%だけ少なくなるように Pb_3O_4 を秤量し、Bサイトを構成するTi、Zr、及びNbの含有モル量がそれぞれ44.0～45.0mol%、54.0～55.0mol%及び1.0mol%となるように TiO_2 、 ZrO_2 、及び Nb_2O_5 を秤量し、湿式

混合粉碎を施した後、仮焼してBサイトの平均価数が4.010のセラミック粉末原料を作製した。

【0083】

そしてその後、上記実施例1～3と同様の方法・手順を施して実施例4～7の試験片を作製した。

【0084】

(実施例8～14)

セラミック素原料として Pb_3O_4 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、及びNiOを準備し、Pbの含有モル量が化学量論組成よりも0.5～5.0mol%だけ少なくなるように Pb_3O_4 を秤量し、Bサイトを構成するTi、Zr、Nb、及びNiの含有モル量がそれぞれ38.0～39.0mol%、35.5～36.5mol%、17.0～17.3mol%、及び8.2～8.5mol%となるように TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、及びNiOを秤量し、湿式混合粉碎を施した後、仮焼してBサイトの平均価数が4.000～4.009のセラミック粉末原料を作製した。

【0085】

そしてその後、実施例1～3と同様の方法・手順でセラミックシートを作製し、次いでAgとPdの重量比Ag/Pdが90/10の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した。そして該積層体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を0.2vol%に設定し、980℃の焼成温度で4～32時間焼成し、セラミック焼結体を作製した。

【0086】

そしてその後、上記実施例1～3と同様の方法・手順を施して実施例8～14の試験片を作製した。

【0087】

(実施例15～18)

セラミック素原料として Pb_3O_4 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、NiO、 Sb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 Cr_2O_3 、 CoO 、及びMgOを準備

し、Pbの含有モル量が化学量論組成よりも0.5～1.5mol%だけ少なくなるように Pb_3O_4 を秤量し、Bサイトを構成するTi、Zr、Nb、Ni、Sb、Ta、W、Cr、Co、及びMgの含有モル量がそれぞれ34.0～39.0mol%、16.0～35.5mol%、13.0～35.0mol%、6.0～15.0mol%、0～3.3mol%、0～0.5mol%、0～0.8mol%、0～2.2mol%、0～0.6mol%及び0～0.6mol%となるように TiO_2 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、 NiO 、 Sb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 Cr_2O_3 、 CoO 、及び MgO を秤量し、湿式混合粉碎を施した後、仮焼してBサイトの平均価数が4.031～4.050のセラミック粉末原料を作製した。

【0088】

そしてその後、実施例1～3と同様の方法・手順でセラミックシートを作製し、次いでAgとPdの重量比Ag/Pdが80/20～85/15の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した。そして該積層体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を0.2vol%に設定し、1020～1040℃の焼成温度で4～32時間焼成し、セラミック焼結体を作製した。

【0089】

次いで、上記実施例1～3と同様の方法・手順を施して実施例15～18の試験片を作製した。

【0090】

(比較例1～2)

Pbの含有モル量を化学量論組成、又は化学量論組成よりも8mol%少なくした以外は実施例1～3と同様にして比較例1～2の試験片を作製した。

【0091】

(比較例3～4)

Pbの含有モル量を化学量論組成、又は化学量論組成よりも8mol%少なくした以外は実施例4～7と同様にして比較例3～4の試験片を作製した。

【0092】

(比較例5～8)

Pbの含有モル量を化学量論組成、又は化学量論組成よりも8mol%少なくした以外は実施例8～14と同様にして比較例5～8の試験片を作製した。

【0093】

(比較例9)

Pbの含有モル量を化学量論組成とし、Nb及びNiの含有量をそれぞれ36.7mol%及び13.3mol%とし、Bサイトの平均価数を4.101とした以外は実施例15～18と同様にして比較例9の試験片を作製した。

【0094】

次に、本発明者らは、各試験片について、セラミック素体中へのAgの拡散量、圧電 d_{31} 定数及び抵抗率 $\log \rho$ を測定した。

【0095】

ここで、Agの拡散量は、X線マイクロアナライザ(Wave Dispersive X-ray; 以下「WDX」という)を使用して定量分析を行った。尚、分析領域におけるAgの含有量は、Agの含有量が既知の試料を使用して検量線を作製し、該検量線を利用して算出した。

【0096】

圧電 d_{31} 定数はインピーダンスアナライザー(ヒューレットパッカード社製HP4194)を使用し、共振-反共振法により測定した。

【0097】

抵抗率 $\log \rho$ は、超高抵抗/微小電流計(アドバンステスト社製R8240A)を使用し、温度25℃で100～300V/mmの直流電界を30秒～1分間印加して絶縁抵抗を測定し、抵抗率 $\log \rho$ を算出した。

【0098】

表1は各実施例1～18、及び比較例1～9の成分組成を示し、表2は焼成温度、焼成時の雰囲気酸素濃度、内部電極用材料であるAgとPdとの重量比Ag/Pd、セラミックシートの厚み、焼成後の単位セラミック層の層厚、及び上記測定結果を示している。

【0099】

【表1】

		Aサイト 成分 (mol%)	Bサイト										平均価数
			成分(mol%)										
			Pb	Ti	Zr	Nb	Ni	Sb	Ta	W	Cr	Co	
実施例	1	99.5	45.5	54.5	—	—	—	—	—	—	—	—	4.000
	2	98.0	45.5	54.5	—	—	—	—	—	—	—	—	4.000
	3	95.0	44.5	55.5	—	—	—	—	—	—	—	—	4.000
	4	99.5	45.0	54.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.010
	5	98.0	45.0	54.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.010
	6	96.5	44.5	54.5	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.010
	7	95.0	44.0	55.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.010
	8	99.5	39.0	35.5	17.0	8.5	—	—	—	—	—	—	4.000
	9	98.0	38.5	36.0	17.0	8.5	—	—	—	—	—	—	4.000
	10	95.0	38.0	36.5	17.0	8.5	—	—	—	—	—	—	4.000
	11	99.5	39.0	35.5	17.3	8.2	—	—	—	—	—	—	4.009
	12	98.0	39.0	35.5	17.3	8.2	—	—	—	—	—	—	4.009
	13	96.5	38.5	36.0	17.2	8.3	—	—	—	—	—	—	4.006
	14	95.0	38.0	36.5	17.2	8.3	—	—	—	—	—	—	4.006
	15	98.5	39.0	35.5	14.0	6.0	3.3	—	—	2.2	—	—	4.031
	16	98.5	39.0	35.5	13.0	6.0	3.0	0.5	0.8	1.0	0.6	0.6	4.031
	17	99.0	37.0	23.0	28.0	12.0	—	—	—	—	—	—	4.040
	18	99.5	34.0	16.0	35.0	15.0	—	—	—	—	—	—	4.050
比較例	1	100.0	45.5	54.5	—	—	—	—	—	—	—	—	4.000
	2	92.0	44.5	55.5	—	—	—	—	—	—	—	—	4.000
	3	100.0	45.0	54.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.010
	4	92.0	44.0	55.0	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.010
	5	100.0	39.0	35.5	17.0	8.5	—	—	—	—	—	—	4.000
	6	92.0	38.0	36.5	17.0	8.5	—	—	—	—	—	—	4.000
	7	100.0	39.0	35.5	17.3	8.2	—	—	—	—	—	—	4.009
	8	92.0	38.0	36.5	17.2	8.3	—	—	—	—	—	—	4.006
	9	100.0	34.0	16.0	36.7	13.3	—	—	—	—	—	—	4.101

【0100】

【表 2】

	焼成温度 (℃)	酸素濃度 (vol%)	Ag/Pd (質量比)	セラミック層厚み (μm)	単位セラミック層の厚厚 (μm)	Ag塩数量 (wt%)	I_{dH} ($\mu\text{C}/\text{A}$)	抵抗率 \log_{10} ($\Omega \cdot \text{cm}$)
試 提 示	1 1020	0.2	85/15	40	25	0.15	138	11.0
	2 1020	0.2	85/15	40	25	0.22	145	11.0
	3 1020	0.2	85/15	40	25	0.27	155	11.2
	4 1020	0.2	85/15	40	25	0.20	168	11.6
	5 1020	0.2	85/15	40	25	0.30	176	11.9
	6 1020	0.2	85/15	40	25	0.35	174	11.8
	7 1020	0.2	85/15	40	25	0.38	157	11.6
	8 960	0.2	90/10	40	25	0.13	179	11.2
	9 960	0.2	90/10	40	25	0.20	189	11.4
	10 960	0.2	90/10	40	25	0.24	173	11.3
	11 960	0.2	90/10	40	25	0.19	211	11.6
	12 960	0.2	90/10	40	25	0.22	223	11.7
	13 960	0.2	90/10	40	25	0.28	215	11.7
	14 960	0.2	90/10	40	25	0.33	192	11.6
	15 1020	0.2	85/15	40	25	0.24	214	11.6
比 較 例	16 1020	0.2	85/15	40	25	0.23	205	11.5
	17 1040	0.2	80/20	40	25	0.34	242	11.4
	18 1040	0.2	80/20	40	25	0.37	254	11.0
	1 1020	0.2	85/15	40	25	0.11	96	10.2
	2 1020	0.2	85/15	40	25	0.35	78	10.5
	3 1020	0.2	85/15	40	25	0.15	115	10.9
	4 1020	0.2	85/15	40	25	0.41	108	10.8
	5 960	0.2	90/10	40	25	0.09	102	10.7
	6 960	0.2	90/10	40	25	0.31	114	11.0
	7 960	0.2	90/10	40	25	0.12	132	10.9
	8 960	0.2	90/10	40	25	0.39	120	11.3
	9 1040	0.2	80/20	40	25	変形のため評価不能		

尚、単位セラミック層の厚厚は、焼成後のセラミック焼結体断面を光学顕微鏡で観察して平均値を算出した。

【0101】

この表1及び表2から明らかなように、比較例1、3、5、及び7は、Pbの

含有モル量が化学量論組成（100mol%）であるため、酸素空孔が形成される一方で、酸素空孔を補償するPb空孔が形成されず、このため圧電 d_{31} 定数が $96 \sim 132 \text{ pC/N}$ と低く、また抵抗率 $\log \rho$ が $11.0 \Omega \cdot \text{cm}$ 未満であり、絶縁抵抗の低下が認められた。

【0102】

また、比較例2、4、6、及び8は、Pbの含有モル量が化学量論組成に比べて8mol%と過度に減じられているので、圧電 d_{31} 定数が $78 \sim 120 \text{ pC/N}$ と低かった。これはPbの減少モル量が多すぎるため、Bサイト成分を構成するTi、Zr、Nb、Niが固溶しきれなくなって析出し、或いはPb量の減少によって焼結体の緻密性が阻害され、このため圧電 d_{31} 定数が低下するものと考えられる。

【0103】

さらに、比較例9では、Bサイトの平均価数が4.101とドナー過剰となっているため（又は／及び、Pbの含有モル量が化学量論組成（100mol%）であるため）、焼成後の変形が大きく、かつ焼結が不十分であったため、評価できなかった。

【0104】

これに対して実施例1～18は、Pbの含有モル量を化学量論組成に対して0.5～5mol%の範囲で減じているので、圧電 d_{31} 定数が $138 \sim 254 \text{ pC/N}$ と高く、抵抗率 $\log \rho$ も、 $11.0 \sim 11.7 \Omega \cdot \text{cm}$ と良好な絶縁抵抗が得られることが分かった。

【0105】

特に、実施例1～3と実施例4～7との比較から明らかなように、Nbを添加した実施例4～7は、Agの拡散量は若干増加するものの、Bサイトの平均価数が4.010とドナー過剰となっているため、Pbの含有モル量の減少と相俟ってPb空孔の空孔数が増加し、これにより低酸素雰囲気での焼成やAgの拡散により生成された酸素空孔がPb空孔により容易に補償される。したがってAgの拡散量が比較的多いと考えられる場合であっても高い圧電 d_{31} 定数を得ることができ、また良好な絶縁抵抗を有することが分かった。

【0106】

さらに、実施例 1～3 と実施例 8～10 との比較から明らかなように、Pb の含有モル量が同一かつ B サイトの平均価数が化学量論組成である 4.000 である場合は、Nb 及び Ni を含有させた方が、高い圧電 d_{31} 定数を得ることができ、また良好な絶縁抵抗を有することが分かった。

【0107】

また、実施例 8～10 と実施例 11～12、14 との比較から明らかなように、Pb の含有モル量が同一の場合は、Nb と Ni を含有させて、さらに B サイトの平均価数を化学量論組成である 4.000 よりも大きくすることにより、Ag の拡散量は若干増加するものの、圧電 d_{31} 定数が向上しており、Nb 及び Ni の含有効果がより大きくなることが確認された。

【0108】

さらに、実施例 15、16 から、ドナーイオンとして Nb 以外に Sb、Ta、及び W を含有させる場合でも、またアクセプターイオンとして Ni 以外に Cr、Co、及び Mg を含有させる場合でも、上記と同様の効果が得られることが確認された。さらに実施例 17、18 から Nb 及び Ni の含有量をさらに増加させた場合も、同様の効果が得られることを確認された。

【0109】

〔第 2 の実施例〕

本発明者らは、実施例 12 及び比較例 5 と同一組成のセラミック粉末原料を使用し、焼成雰囲気中の酸素濃度を種々変更して第 1 の実施例と同様、積層型圧電部品の試験片を作製した。

【0110】

(実施例 21～25)

上記実施例 12 と同一組成のセラミック粉末原料を使用し、第 1 の実施例と同様の方法・手順でセラミックシートを作製し、Ag と Pd との重量比 Ag/Pd が 90/10 の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した。そして、該積層成形体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を 0.01～5.0 vol% に設定し、

980℃の焼成温度で4～32時間焼成し、セラミック焼結体を作製した。

【0111】

そしてその後、上記第1の実施例と同様に、実施例21～25の試験片を作製した。

【0112】

(比較例21、22)

上記実施例21～25と同一組成のセラミック粉末原料を使用し、酸素濃度を10.0vol%又は21.0vol%に設定して焼成し、比較例21、22の試験片を作製した。

【0113】

(比較例23～28)

上記比較例5と同一組成のセラミック粉末原料を使用し、第1の実施例と同様の方法・手順でセラミックシートを作製し、AgとPdの比Ag/Pdが重量比で90/10の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した。そして、該積層成形体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を0.05～21.0vol%に設定し、実施例21～24と略同様の方法・手順で比較例23～28の試験片を作製した。

【0114】

次に、本発明者らは、第1の実施例と同様、各試験片について、セラミック素体中へのAgの拡散量、圧電 d_{31} 定数及び抵抗率 $\log\rho$ を測定した。さらに焼成後のセラミック焼結体断面を走査型電子顕微鏡で観察してインターセプト法で平均粒径を算出した。

【0115】

表3は各実施例21～25、及び比較例21～28の焼成温度、焼成雰囲気、酸素濃度、内部電極のAg/Pd重量比、セラミックシートの厚み、焼成後の単位セラミック層の層厚、及び上記測定結果を示している。

【0116】

【表 3】

	焼成温度 (°C)	酸禁濃度 (wt%)	Ag/Pd (質量比)	セラミット厚み (μm)	単位セラミット層の層厚 (μm)	Ag粒数量 (wt%)	I_{d11} ($\mu\text{C}/\text{Å}$)	抵抗率 $\log \rho$ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	粒径 (μm)
実 例	21	980	0.01	90/10	40	25	216	11.6	1.8
	22	980	0.05	90/10	40	25	218	11.6	1.9
	23	980	0.5	90/10	40	25	221	11.7	2.3
	24	980	0.9	90/10	40	25	223	11.6	2.7
	25	980	5.0	90/10	40	25	209	11.4	3.4
比 較 例	21	980	10.0	90/10	40	25	192	10.9	4.8
	22	980	21.0	90/10	40	25	188	10.6	6.3
	23	980	0.05	90/10	40	25	90	10.6	1.5
	24	980	0.5	90/10	40	25	104	10.8	1.7
	25	980	0.9	90/10	40	25	104	10.8	2.2
	26	980	5.0	90/10	40	25	115	11.0	2.8
	27	980	10.0	90/10	40	25	132	10.9	4.3
	28	980	21.0	90/10	40	25	151	10.8	5.2

この表3から明らかなように、比較例21、22はPbの含有モル量を2mol

%減じているため、圧電 d_{31} 定数は比較的良好ではあるが、酸素濃度が 10.0 vol%、又は 21.0 vol% と高いため、実施例 21～25 と比較すると圧電 d_{31} 定数は低下している。また、粒成長が認められ、抵抗率 $\log \rho$ も 11.0 $\Omega \cdot \text{cm}$ 未満となって絶縁抵抗の劣化が認められた。

【0117】

比較例 23～26 は、Pb の含有モル量が化学量論組成であり、しかも低酸素雰囲気中で焼成しているため、酸素空孔の生成が促進され、圧電 d_{31} 定数の低下を引き起こすことが確認された。

【0118】

さらに、比較例 27、28 は、酸素濃度が 10.0 vol%、又は 21.0 vol% と高いため、比較例 21、22 と同様、粒成長が認められ、抵抗率 $\log \rho$ が 11.0 $\Omega \cdot \text{cm}$ 未満となって絶縁抵抗の低下が認められた。

【0119】

これに対して実施例 21～25 は、Pb の含有モル量を 2 mol% 減じており、しかも 0.01～5.0 vol% の低酸素雰囲気中で焼成しているので、良好な圧電 d_{31} 定数を得ることができると共に、絶縁抵抗の低下を抑制することのことが確認された。特に 1.0 vol% 未満の低酸素雰囲気中で焼成した場合に圧電 d_{31} 定数と絶縁抵抗がより良好であることが確認された。

【0120】

〔第 3 の実施例〕

本発明者らは、実施例 12 及び比較例 5 と同一組成のセラミック粉末原料を使用し、内部電極の Ag/Pd 重量比を種々変更して第 1 の実施例と同様、積層型圧電部品の試験片を作製した。

【0121】

(実施例 31～35)

第 2 の実施例と同様、実施例 12 と同一組成のセラミック粉末原料を使用して厚み 32 μm のセラミックシートを作製し、Ag と Pd との重量比 Ag/Pd が 95/5～70/30 の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した。そして、該積層成形体をアルミ

ナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を0.2 vol%に設定し、950～1080℃の焼成温度で4～32時間焼成処理を施し、焼成後の単位セラミック層が20 μ mのセラミック焼結体を作製した。

【0122】

そしてその後、上記第1の実施例と同様に、実施例31～35の試験片を作製した。

【0123】

(比較例31～35)

第2の実施例と同様、比較例5と同一組成のセラミック粉末原料を使用して厚み32 μ mのセラミックシートを作製し、AgとPdとの重量比Ag/Pdが95/5～70/30の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷を施した後、積層成形体を作製した。そして、該積層成形体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を21.0 vol%に設定し、950～1080℃の焼成温度で4～32時間焼成し、焼成後の単位セラミック層が20 μ mのセラミック焼結体を作製した。

【0124】

そしてこの後、上記第1の実施例と同様に、比較例31～35の試験片を作製した。

【0125】

次に、本発明者らは、第2の実施例と同様、Agの拡散量、圧電 d_{31} 定数、抵抗率 $\log \rho$ 、焼成後の粒径を測定した。

【0126】

表4は各実施例31～35、及び比較例31～35の焼成温度、焼成雰囲気、酸素濃度、重量比Ag/Pd、セラミックシートの厚み、焼成後の単位セラミック層の層厚、及び上記測定結果を示している。

【0127】

【表 4】

	焼成温度 (℃)	炭素濃度 (vol%)	Ag/Pd (重量比)	セリゲンコート厚み (μm)	単位セリゲン層の厚さ (μm)	Ag拡散量 (wt%)	$I_{d_{11}}$ ($\mu\text{C}/\text{N}$)	抵抗率 ($\log \Omega \cdot \text{cm}$)	粒径 (μm)	
実施例	31	950	0.2	95/5	32	20	0.31	217	11.5	1.8
	32	980	0.2	90/10	32	20	0.23	225	11.7	2.4
	33	1020	0.2	85/15	32	20	0.21	229	11.6	2.9
	34	1040	0.2	80/20	32	20	0.19	232	11.7	3.3
	35	1080	0.2	70/30	32	20	0.12	240	11.7	3.6
比較例	31	950	21.0	95/5	32	20	0.54	102	9.7	6.5
	32	980	21.0	90/10	32	20	0.45	134	10.3	5.8
	33	1020	21.0	85/15	32	20	0.35	149	10.8	5.6
	34	1040	21.0	80/20	32	20	0.32	190	11.2	4.8
	35	1080	21.0	70/30	32	20	0.27	223	11.6	3.9

この表 4 から明らかなように、比較例 31～35 は Pb の含有モル量が化学量

論組成であるので、内部電極中の Ag 含有率を低下させると、比較的良好な圧電 d_{31} 定数を得ることができるが、Ag の含有率が増加するに従い Ag の拡散量が増加して圧電 d_{31} 定数の低下が顕著になることが分かった。また、Ag の含有率が増加するに従い、粒成長が起こるとともに、絶縁抵抗も低下することが確認された。

【0128】

これに対して実施例 31～35 は、Pb の含有モル量が化学量論組成に対し 2 mol% 減じているので、内部電極中の Ag 含有率に依存することなく $217 \sim 240$ pC/N の高い圧電 d_{31} 定数を得ることが確認された。特に、重量比 Ag/Pd が $80/20$ 以上である実施例 31～34 では、同一重量比である比較例 31～34 に比べて圧電 d_{31} 定数が大幅に改善されることが確認された。さらには、Ag/Pd 重量比が $85/15$ 以上である実施例 31～33 では、同一重量比である比較例 31～33 に比べて圧電 d_{31} 定数がより顕著に改善され、絶縁抵抗も大幅に改善されることが確認された。すなわち、Pb の含有モル量の減少及びドナー過剰により生成された Pb 空孔が、Ag 拡散の増加や低酸素雰囲気焼成により生成された酸素空孔を補償し、内部電極中の Ag 含有率が高い場合であっても圧電 d_{31} 定数と絶縁抵抗を大幅に改善することができることが示されている。

【0129】

尚、実施例 31～35 の粒径は $1.8 \sim 3.6 \mu\text{m}$ であり、比較例 31～35 の粒径に比べて細かいことも確認された。

【0130】

【第 4 の実施例】

本発明者らは、実施例 12 及び比較例 5 と同一組成のセラミック粉末原料を使用して異なる厚みのセラミックシートを作製し、第 1 の実施例と同様、積層型圧電部品の試験片を作製した。

【0131】

【実施例 41～44】

第 2 の実施例と同様、実施例 12 と同一組成のセラミック粉末原料を使用して

厚み 18～130 μm のセラミックシートを作製し、Ag と Pd との重量比 Ag / Pd が 90 / 10 の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した（積層枚数 4～30）。そして、これら積層体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を 0.1 vol% に設定し、980℃の焼成温度で 4～32 時間焼成し、焼成後の単位セラミック層が 12～80 μm のセラミック焼結体を作製した。

【0132】

そしてこの後、上記第 1 の実施例と同様に、実施例 41～44 の試験片を作製した。

【0133】

（比較例 41～44）

第 2 の実施例と同様、比較例 5 と同一組成のセラミック粉末原料を使用して厚み 18～130 μm のセラミックシートを作製し、Ag と Pd との重量比 Ag / Pd が 90 / 10 の内部電極用導電性ペーストを上記セラミックシート上にスクリーン印刷した後、積層成形体を作製した（積層枚数 4～30）。そして、これら積層成形体をアルミナ製の匣に収容し、脱脂処理を行った後、酸素濃度を 21.0 vol% に設定し、980℃の焼成温度で 4～32 時間焼成し、単位セラミック層が 12～80 μm のセラミック焼結体を作製した。

【0134】

そしてこの後、上記第 1 の実施例と同様に、比較例 41～44 の試験片を作製した。

【0135】

次に、本発明者らは、第 2 の実施例と同様、Ag の拡散量、圧電 d_{31} 定数、抵抗率 $\log \rho$ 、及び焼成後の粒径を測定した。

【0136】

表 5 は各実施例 41～44、及び比較例 41～44 の焼成温度、焼成雰囲気、酸素濃度、Ag / Pd の重量比、セラミックシートの厚み、焼成後の単位セラミック層の層厚、及び上記測定結果を示している。

【0137】

【表 5】

	焼成温度 (℃)	酸素濃度 (vol%)	Ag/Pd (質量比)	セリウム層厚み (μm)	単位セリウム層の層厚 (μm)	Ag添加量 (wt%)	$ d_{21} $ (pC/A)	抵抗率 $\log \rho$ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	粒径 (μm)	
実 施 例	41	980	0.1	90/10	130	80	0.15	230	11.8	1.8
	42	980	0.1	90/10	64	40	0.18	231	11.8	2.2
	43	980	0.1	90/10	32	20	0.20	222	11.7	2.4
	44	980	0.1	90/10	18	12	0.31	209	11.5	2.9
比 較 例	41	980	21.0	90/10	130	80	0.29	198	11.3	4.3
	42	980	21.0	90/10	64	40	0.31	153	10.8	4.9
	43	980	21.0	90/10	32	20	0.44	134	10.3	5.8
	44	980	21.0	90/10	18	12	0.55	103	9.9	6.8

この表5から明らかなように、比較例41～44はPbの含有モル量が化学量

論組成であるので、焼成後の単位セラミック層の層厚（又はセラミックシートの厚み）が厚い場合は比較的良好な圧電 d_{31} 定数を得ることができるが、単位セラミック層の層厚（又はセラミックシートの厚み）が減少して薄層化するに従い、 A_g の拡散量が増加し、圧電 d_{31} 定数の低下が顕著になることが分かった。また単位セラミック層の層厚（又はセラミックシートの厚み）を減少させて薄層化するに従い、粒成長が顕著になり、絶縁抵抗も低下することが確認された。

【0138】

これに対して実施例 4 1～4 4 は、単位セラミック層の層厚（又はセラミックシートの厚み）に依存することなく $209 \sim 230 \text{ pC/N}$ の高い圧電 d_{31} 定数を得ることができることが確認された。特に単位セラミック層の層厚が $40 \mu\text{m}$ 以下（又はセラミックシートの厚みが $64 \mu\text{m}$ 以下）である実施例 4 2～4 4 は、単位セラミック層の層厚（又はセラミックシートの厚み）が同一である比較例 4 2～4 4 に比べて圧電 d_{31} 定数、絶縁抵抗が大幅に改善されることが確認された。すなわち、低酸素雰囲気中での焼成により A_g の拡散を抑制すると共に、 P_b の含有モル量の減少及びドナー過剰により生成された P_b 空孔が、 A_g 拡散や低酸素雰囲気焼成による酸素空孔の生成を補償し、圧電 d_{31} 定数と絶縁抵抗を大幅に改善することができることを示している。

【0139】

尚、実施例 4 1～4 4 の粒径は $1.8 \sim 2.9 \mu\text{m}$ であり、比較例 4 1～4 4 に比べて細かいことも確認された。

【0140】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明に係る積層型圧電部品の製造方法は、一般式 ABO_3 で表される PZT 系のペロブスカイト型複合酸化物の圧電セラミック素体を含む積層型圧電部品の製造方法において、前記 A サイト成分、すなわち P_b のモル含有量を化学量論組成に対し $0.5 \text{ mol}\% \sim 5.0 \text{ mol}\%$ 減じたセラミック粉末原料を生成するセラミック粉末原料生成工程と、前記セラミック粉末原料を用いて積層成形体を作製する積層成形体作製工程と、酸素濃度が体積%で $5.0 \text{ vol}\%$ 以下（但し、 $0 \text{ vol}\%$ を含まず）の雰囲気下で前記積層成形体を焼成する焼成

工程とを含むので、P b 空孔が形成されて、該 P b 空孔が A g 拡散や低酸素雰囲気焼成により生成される酸素空孔を補償し、これにより酸素空孔の生成に起因した圧電 d 定数の低下や絶縁抵抗の劣化を抑制することができ、粒成長の発生も抑制することができる。

【 0 1 4 1 】

また、前記粉末原料生成工程は、前記 B サイト成分の平均価数が化学量論組成よりも大きくなるように前記 A サイト成分を構成するセラミック素原料と B サイト成分を構成するセラミック素原料とを配合するので、ドナー過剰となってより効果的に P b 空孔の形成が促進され、これにより、圧電 d 定数の低下や絶縁抵抗の劣化をより一層効果的に抑制することができる。

【 0 1 4 2 】

また、前記 B サイト成分は、N b、S b、T a、Wの中から選択された少なくとも 1 種以上の成分（好ましくは N b）を含み、さらに必要に応じて N i、C r、C o、M gの中から選択された少なくとも 1 種以上の成分（好ましくは N i）を含み、かつ前記 B サイト成分の平均価数を 4. 0 0 0 ~ 4. 1 0 0 に制御することにより、焼結性を損なうこともなく、上記効果を容易に奏することができる。

【 0 1 4 3 】

また、前記内部電極用導電性ペーストにおいて、P d 等に比べて安価な A g が内部電極材料の大部分を占める場合であっても、A g の拡散により生じる酸素空孔を P b 空孔によって補償することができ、圧電 d 定数や絶縁抵抗が劣化するのを抑制することができる。

【 0 1 4 4 】

また、本発明に係る積層型圧電部品は、上記製造方法により製造されているので、圧電 d 定数が高く、良好な絶縁抵抗を有する信頼性に優れた積層型圧電アクチュエータ、積層型圧電発音体、積層型圧電センサ等の積層型圧電部品を容易に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る積層型圧電部品としての積層圧電アクチュエータの一実施の形態（第 1 の実施の形態）を示す断面図である。

【図 2】

本発明に係る積層型圧電部品の第 2 の実施の形態としての積層圧電発音体を示す断面図である。

【図 3】

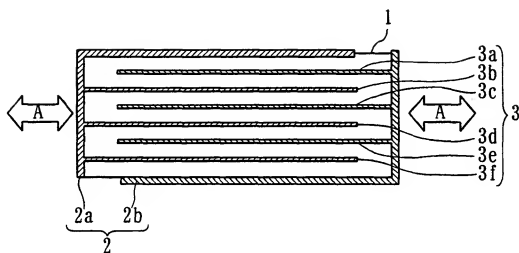
本発明に係る積層型圧電部品の第 3 の実施の形態としての積層圧電センサを示す断面図である。

【符号の説明】

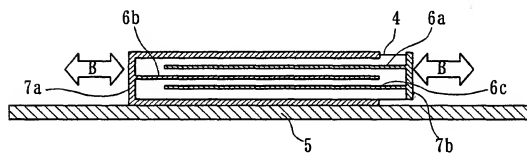
- 1 圧電セラミック素体
- 3 a ~ 3 f 内部電極
- 4 圧電セラミック素体
- 6 a ~ 6 c 内部電極
- 9 圧電セラミック素体
- 1 1 a ~ 1 1 e 内部電極

【書類名】 図面

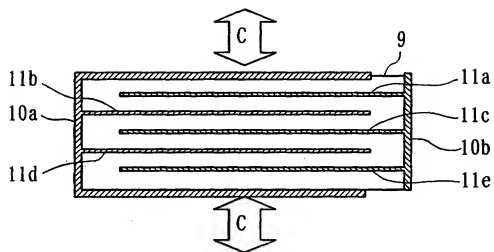
【図 1】



【図 2】



【図3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 薄層化や多層化しても、或いはA gの含有率が高い内部電極材料を用いた場合であっても、高い圧電d定数を得ることができ、かつ絶縁抵抗の劣化などの信頼性低下を抑制することのできる積層型圧電部品を製造する。

【解決手段】 一般式 ABO_3 で表されるPZT系のペロブスカイト型複合酸化物により圧電セラミック素体を形成した積層型圧電部品の製造方法において、Aサイト成分(Pb)の含有モル量を化学量論組成に対し0.5～5.0mol%減じ、更にはBサイト成分の平均価数が化学量論組成である4価よりも大きくなるようにセラミック素原料を配合し、前記セラミック粉末原料を合成する。そして、前記圧電セラミック粉末原料に加工処理を施して積層成形体を作製し、その後、酸素濃度が5.0vol%以下（但し、0vol%を含まず）の低酸素雰囲気下で前記積層成形体を焼成する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006231]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 京都府長岡京市天神二丁目26番10号

氏 名 株式会社村田製作所